

Desarrollo de un escáner 3D mediante cámaras estereoscópicas e iluminación láser

**Federico Cristina, Sebastián H. Dapoto, Javier Vegas, Verónica Artola, Claudia Russo,
Abásolo María José**

{fcristina, sdapoto, jvegas, vartola, crusso} @lidi.info.unlp.edu.ar
{mjabasolo} @uib.es

Instituto de Investigación en Informática LIDI
Facultad de Informática. Universidad Nacional de La Plata.
La Plata, Buenos Aires, Argentina.
Universidad de las Islas Baleares
Departamento de Matemática e Informática

*V Workshop de Computación Gráfica, Imágenes y Visualización
XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación CACIC 2007*

Resumen

Los dispositivos de escaneo tridimensional permiten obtener modelos de objetos utilizando distintas técnicas de captura. Esta tarea puede ser llevada a cabo por ejemplo mediante estereovisión, el cual es un método de reconstrucción 3D a partir de fotografías. Las técnicas de reconstrucción 3D mediante luz se basan en la proyección de un patrón de luz conocido sobre una escena y a partir del análisis de la proyección puede deducirse la forma de los objetos. De esta manera, basándose en la información bidimensional de las fotografías en conjunto con la luz estructurada puede obtenerse la ubicación tridimensional y construirse un modelo virtual 3D de la escena u objeto fotografiado. El presente trabajo tiene por objeto plantear una solución integral hardware/software al problema de reconstrucción de modelos tridimensionales que presente un buen balance costo/beneficio.

Palabras claves: estereovisión, escáner tridimensional, reconstrucción 3D, proyección de luz

Abstract

Three-dimensional scanning devices allow obtaining object models using several capturing techniques. This task can be carried out through stereovision, which is a 3D reconstructing method based on photographs. 3D reconstruction techniques using light projection uses a known light pattern over the scene, the shape of the objects can then be deduced by the analysis of the projection. In this way, based on the two-dimensional information from the photographs together with the structured light, the three-dimensional position can be obtained and build a 3D virtual model of the photographed object or scene. The present paper poses an integral hardware/software solution to the three-dimensional model reconstruction problem which presents a good cost/benefit balance.

Keywords: stereovision, three-dimensional scanner, 3D reconstruction, light projection

¹ Esta investigación es financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional AECI programa de cooperación interuniversitaria e investigación científica. Proyecto A/7155/06 – Diseño de un sistema de reconstrucción 3D mediante cámaras estereoscópicas y luz estructurada.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen distintos sistemas de digitalización 3D [1,2,3,4,5,6]. Según sus características, éstos pueden ser divididos en dos grandes grupos: sistemas con o sin contacto con el objeto a digitalizar.

1.2 Escaneado por contacto

Los sistemas de digitalización por contacto son los más antiguos. Principalmente se emplean en la verificación dimensional de piezas industriales para el control de calidad. Con estos sistemas se obtienen las coordenadas de los puntos gracias al desplazamiento de una punta sobre la superficie a digitalizar. Éstos poseen una elevada precisión; pero por el contrario tienen una velocidad de adquisición de datos muy baja, ya que se necesita llevar manualmente la punta a cada posición que se quiera digitalizar, con lo cual el tiempo de escaneado de un objeto de tamaño medio resulta relativamente elevado. Para emplear estos sistemas por contacto, se necesita además que las piezas tengan la rigidez suficiente para que no se deformen por el contacto de la punta y debido a la geometría de las éstas, es imposible digitalizar ciertas ranuras y ángulos interiores.

1.2 Escaneado sin contacto

Los sistemas de digitalización sin contacto presentan la ventaja de lograr una velocidad de adquisición de datos muy superior a las de los digitalizadores por contacto. Se pueden dividir las técnicas de digitalización sin contacto en dos grandes grupos: de visión pasiva y de visión activa.

1.2.1 Técnicas de visión pasiva

El sistema visual humano permite obtener información de profundidad mediante la fusión de dos escenas monoculares, que son las escenas que captan cada uno de nuestros ojos. La visión pasiva se basa entonces en utilizar dos puntos de vista de un mismo objeto para encontrar las coordenadas tridimensionales.

La principal complejidad de este método es la correspondencia de puntos en cada una de las imágenes monoculares. Las técnicas encargadas de realizar esta tarea presentan generalmente un elevado costo computacional [7,8].

1.2.2 Técnicas de visión activa

Estas técnicas son las que hacen intervenir una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de medida. Constan como mínimo de un emisor de luz y uno o más receptores. Conociendo la dirección del rayo emitido y la del recibido se obtienen las dimensiones del triángulo formado y por lo tanto se logra determinar la profundidad del punto inspeccionado.

Existen tres tipos de sistemas de visión activa:

- Telemetría: La telemetría consiste en medir el tiempo de recorrido de un rayo luminoso (láser) hasta la superficie de medida. La medición se obtiene determinando el tiempo entre la emisión del impulso luminoso y la observación del retorno.

- Proyección de luz estructurada: En este sistema el emisor es un proyector de luz blanca y el receptor una cámara CCD. Cuando se inicia una digitalización el proyector lanza sobre el objeto una serie de franjas de luz verticales de claros y sombras alternadas, que son registradas por la cámara. El cálculo de la profundidad consiste en resolver las intersecciones plano-recta de la proyección.
- Digitalización por láser: Este sistema, utilizado en el presente trabajo, utiliza un láser de diodos como fuente lumínica. Dicho láser proyecta una línea de luz sobre la superficie que va a ser digitalizada. La luz reflejada será detectada por uno o dos células fotosensibles que se encuentran situadas a ambos lados del láser. Estos detectores leen el haz de luz reflejado y procesan la información obtenida a partir del perfil proyectado. El resultado de la digitalización nos da la posibilidad de obtener la geometría completa de la pieza a escanear.

Aunque cada uno de estos sistemas posee características similares, éstas presentan ventajas y desventajas de acuerdo a los requerimientos específicos de la aplicación, las cuales serán comentadas a continuación.

2 ANALISIS PRELIMINAR DE SISTEMAS

La medición 3D de geometrías libres ha sido abordada mediante el desarrollo de instrumentos de medición como Máquina de Medir por Coordenadas (MMC), Sistemas Láser de Medición (SLM) y Sistemas de Medición por Visión (SMV).

Los SLM son utilizados en la medición de longitud y ángulo con alta exactitud. Su desventaja radica en el empleo de arreglos ópticos que generalmente son diseñados para evaluar el desempeño de máquinas y herramientas de ejes coordenados.

Por otra parte, existen SLM diseñados para la medición de profundidad en escenas con una alta tasa de muestreo. Su desventaja radica en la relativa baja exactitud. En forma adicional, los instrumentos comerciales ya sea MMC o SLM tienen un alto costo de compra y mantenimiento, lo que hace difícil su disponibilidad en el ámbito nacional.

Por el contrario, los SMV constituyen una oferta atractiva en cuanto a costos, a expensas de la disminución en exactitud. En forma adicional, los SMV pueden tener las más altas tasas de muestreo y los niveles más elevados de automatización en su operación. No obstante las desventajas de los SMV, existen aplicaciones industriales, artísticas y de entretenimiento que los convierten en una opción ideal.

3 DESCRIPCION DE LA TECNICA IMPLEMENTADA

Básicamente, la técnica emplea un sistema de medición sustentado en la generación de un patrón con luz proyectada y la captura de imágenes estéreo. La proyección resalta las características de interés en el objeto a medir y facilita el procesamiento de la imagen para la reconstrucción tridimensional como también simplifica y optimiza el proceso de correspondencia de puntos utilizado en el procesamiento de las imágenes.

3.1 Metodología de adquisición

3.1.1 Tipos de proyecciones

El haz láser puede ser conformado de diferentes formas (figura 1): punto, una o más líneas, cruz, círculo, grillas de diferentes pasos y tamaños [9,10,11].



Figura 1. Varios tipos de proyecciones mediante láser

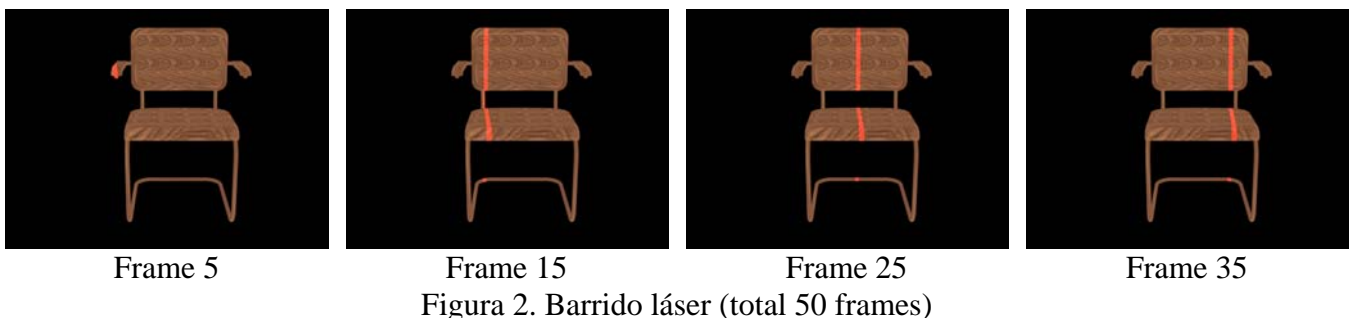
Las formas más utilizadas son el punto, la línea y la cruz. Las diferentes formas del haz láser se utilizan en alineación, centrado, marcado de línea de corte, inspección, seguridad, visión industrial. Se determinó la línea como el patrón correcto para el sistema.

3.1.2 Técnica implementada

El sistema fue pensado a fin de incorporar dos métodos de adquisición de datos diferentes, los cuales comparten características similares.

- Adquisición de datos mediante barrido láser: en este caso, el objeto a reconstruir permanece inmóvil, mientras que se releva la superficie del mismo barriendo el área de escaneado con un láser. Pensado para objetos sin volumen de revolución o cuyo contenido se presenta en una sola cara.
- Adquisición de datos mediante objeto giratorio: en este caso, el láser permanece inmóvil, y es el objeto quien realizar un giro sobre su eje a fin de relevar la superficie del mismo. Ideal para objetos con volumen de tipo *cilíndrico*, como vasijas, tazas, etc.

Las simulaciones ilustradas en las figuras 2 y 3 muestran una secuencia de imágenes que ejemplifican la captura de ambos mecanismos. La primera presenta la adquisición mediante barrido láser, mientras que la segunda presenta la secuencia mediante objetivo giratorio.



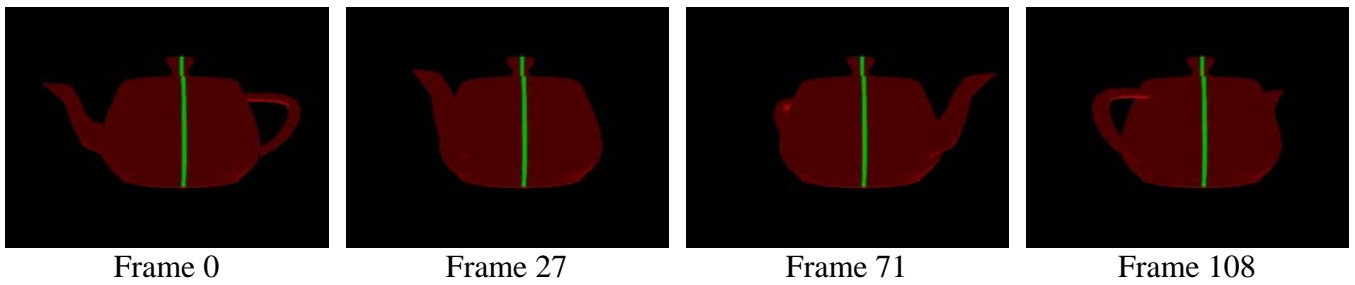


Figura 3. Objetivo giratorio (total 180 frames)

3.1.3 Detalle del proceso de reconstrucción

Primeramente, y por única vez, es necesario realizar la calibración de cámaras, tanto intrínseca como extrínsecamente [12,13,14,15,16,17]. El sistema presenta un módulo de calibración específico para esta finalidad.

Posteriormente, una vez obtenidas las capturas estéreo, se procede a realizar la reconstrucción del objeto mediante la obtención de la nube de puntos. Básicamente se genera una matriz de profundidades, en la que cada celda (X, Y) refiere a un Z del objeto en particular. La columna *i-ésima* de la matriz se obtiene con el par de imágenes estéreo *i-ésimo* de la secuencia de video, mediante la triangulación de los puntos iluminados con la proyección del láser.

Por cada par de imágenes estéreo, se debe realizar la correspondencia de puntos en la zona donde se presenta la proyección del láser. Gracias a ésta, dicha tarea es relativamente sencilla y presenta un reducido coste computacional.

El pseudocódigo para la obtención de la matriz de profundidades es el siguiente:

```
float depths[][];
int column = -1;
for (int frame = 0; frame < leftVideo.frames; frame++)
{
    leftImage = leftVideo.getFrame(frame);
    rightImage = rightVideo.getFrame(frame);

    column++;
    for (int leftRow = 0; leftRow < leftImage.rows; leftRow++)
    {
        rightRow = obtainRowCorrespondence(leftRow);

        leftColumn = obtainLaserPosition(leftImage, leftRow);
        rightColumn = obtainLaserPosition(rightImage, rightRow);

        zValue = triangulate(leftColumn, leftRow, rightColumn, rightRow);
        depths[column][leftRow] = zValue;
    }
}
```

La matriz obtenida es posteriormente utilizada para la renderización en el entorno de visualización 3D. En el caso del objeto giratorio, la reconstrucción del objeto se realiza de manera tal que se contemple el ángulo de giro en cada columna a reconstruir.

4 PRUEBAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

A fin de determinar la metodología de adquisición óptima que debe cumplimentar el sistema, se realizaron varias pruebas simuladas; observando en cada caso la calidad de los resultados obtenidos.

El criterio de evaluación se basó principalmente en dos factores: tiempo de procesamiento en la adquisición y generación de nube de puntos; y precisión en la triangulación de puntos. Dado que el hardware a utilizar se encuentra en función del método de adquisición, este punto fue una derivación directa de la determinación del primero.

Tal como se comentó previamente, las pruebas realizadas fueron basadas en simulaciones por computadora mediante la aplicación 3D Studio Max. Las mismas fueron de vital utilidad al momento de verificar configuraciones de hardware/software, ubicación de las cámaras y correctitud de los algoritmos.

La figura 4a presenta la renderización 3D de la nube de puntos obtenida mediante la primer técnica, correspondiente a la primer secuencia anteriormente mencionada.

La figura 4b presenta la renderización 3D de la nube de puntos obtenida mediante la segunda técnica, correspondiente a la segunda secuencia anteriormente mencionada. Cabe destacar que en esta interpretación debe contemplarse que la tetera se encuentra “abierta” y estirada (dada la forma en que Matlab realiza la renderización).

Como se muestra posteriormente, en la visualización en el entorno de renderización 3D será contemplado el ángulo de rotación de la captura para la reconstrucción del objeto de la figura 3.

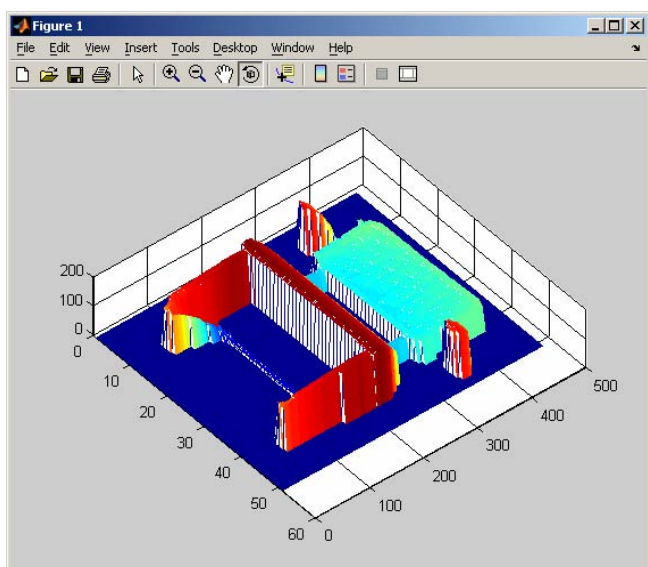


Figura 4a. Visualización de la matriz de profundidades en Matlab.

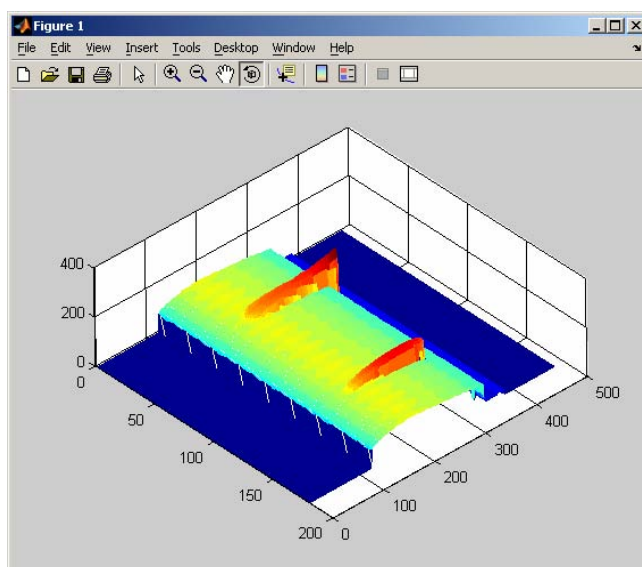


Figura 4b. Visualización de la matriz de profundidades en Matlab (rotación de objeto)

5 ENTORNO DE RENDERIZACIÓN 3D

El entorno de renderización 3D se encarga de procesar la nube de puntos almacenada en la matriz de profundidades y generar el objeto escaneado. Una vez obtenido éste, se realiza la visualización del mismo.

El entorno se encuentra en etapa de desarrollo. Sin embargo, la figura 5 presenta dos visualizaciones iniciales de las reconstrucciones realizadas. La figura 5a corresponde a la secuencia mostrada en la figura 2, mientras que la figura 5b corresponde a la secuencia de la figura 3.

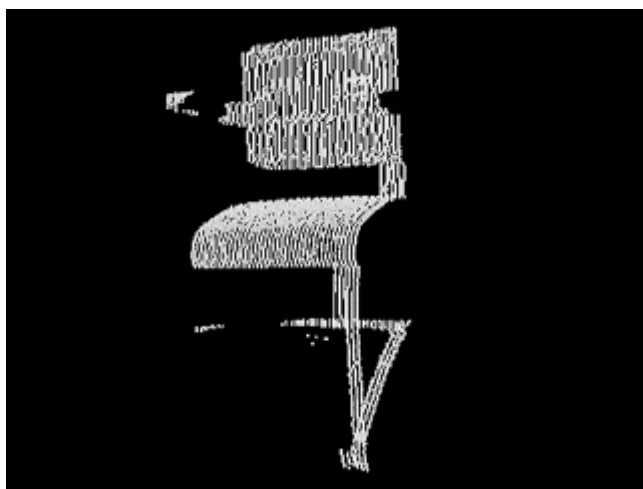


Figura 5a. Renderizaciones a partir de la matriz de profundidades

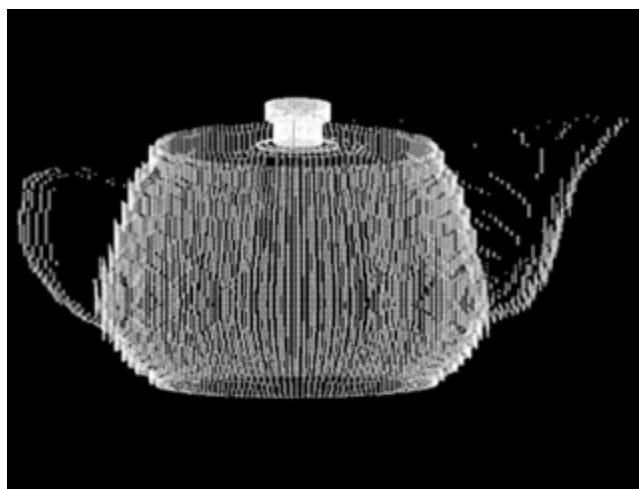


Figura 5b. Renderizaciones a partir de la matriz de profundidades (rotación del objeto)

El entorno permite observar la pieza desde cualquier posición que sea necesario, pudiendo rotar tanto la cámara como el objeto.

Aunque el sistema de adquisición se encuentra desarrollado utilizando la librería OpenCV [18], el desarrollo del entorno de visualización se está efectuando apoyándose en la API de Java 3D de Sun Microsystems [19]. Esto indica una independencia funcional de cada una de las partes que componen la implementación, permitiendo el desarrollo por separado de cada una de éstas.

6 IMPLEMENTACION DEL HARDWARE

Actualmente se encuentra en desarrollo el armazón para el sistema de captura, el cual contará con 2 cámaras, un láser, 2 motores y la estructura que lo soporta. La misma fue pensada para permitir un fácil armado y desarmado a fin de facilitar su portabilidad.

La estructura posee ciertas características que aumentan la versatilidad del sistema de captura, tales como regules de horizontalidad, posicionamiento de cámaras, láser y objeto en múltiples posiciones, etc.

La figura 6 muestra dos vistas del prototipo en el cual actualmente se está trabajando.



Figura 6. Hardware en desarrollo

7 CONCLUSIONES

Aunque todavía el proyecto no se encuentra finalizado, el estado actual del mismo permite prever resultados más que aceptables con la tecnología de hardware que se espera utilizar en conjunto con el software desarrollado.

Aunque las pruebas realizadas hasta el momento fueron efectuadas en un ambiente controlado, las mismas arrojan un balance positivo en cuanto a la relaciones de costo/beneficio y de precisión/performance.

Una vez finalizado el desarrollo del hardware se espera utilizar inicialmente el escáner para la digitalización 3D de vasijas y estatuillas pertenecientes a la colección del Museo de Ciencias Naturales de La Plata.

8 REFERENCIAS

- [1] Surface Reconstruction by Integrating 3D and 2D Data of Multiple Views Maxime.
LHUILIER, Long QUAN LASMEA UMR 6602 Department of Computer Science Université Blaise Pascal/CNRS, France Hong Kong University of Science and Technology
- [2] Reality : an Interactive Reconstruction Tool of 3D Objects from Photographs.
S. Dedieu , P. Guitton, C. Schlick, and P. Reuter LaBRI (CNRS, Université Bordeaux I, ENSEIRB)
351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France.
- [3] High-Resolution Structured Light Range Scanner with Automatic Calibration
ALEXANDER M. BRONSTEIN \square MICHAEL M. BRONSTEIN \square EYAL GORDON \times RON KIMMEL
- [4] Interactive 3-D Media with Structured Light Scanning
Nelson L. Chang - Imaging Systems Laboratory
HP Laboratories Palo Alto - HPL-2003-112 - May 29th , 2003

- [5] Recuperación de Información Tridimensional usando Luz Estructurada
Venustiano Soancatl Aguilar. Tesis de Maestría en Ciencias Computacionales en Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
- [6] A Simple 3D Scanner
<http://www.sjbaker.org/projects/scanner/>
- [7] Search Algorithms for Block-Matching in Motion Estimation. Deepak Turaga, Mohamed Alkanhal.
http://www.ece.cmu.edu/~ee899/project/deepak_mid.htm
- [8] Optical Flow. David Marshall. http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/Vision_lecture/node45.html
- [9] Diffractive Optical Elements (DOEs)
http://www.stockeryale.com/i/lasers/accessories/diff_gratings.htm#patterns
- [10] Laser line generators and other structured light pattern projectors
http://www.stockeryale.com/i/lasers/lasiris_lasers.pdf
- [11] Laser and Eye Safety
<http://www.stockeryale.com/i/lasers/safety.htm>
- [12] TRUCCO, VERRI, Introductory Techniques for 3D computer vision, Prentice Hall 1998.
- [13] XU, ZHANG, Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition, A Unified Approach, Kluwer Academic Publishers 1996.
- [14] HARTLEY, ZISSERMAN, Multiple View Geometry in computer vision, Cambridge University Press 2000.
- [15] A Flexible New Technique for Camera Calibration. Zhengyou Zhang. Technical Report MSR-TR-98-71 - 2002
- [16] Camera Calibration Toolbox for Matlab.
www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
- [17] Seguimiento tridimensional usando dos cámaras. Pablo Barrera González, José María Cañas Plaza - 2004
- [18] OpenCV - Open Source Computer Vision Library Community.
<http://groups.yahoo.com/group/OpenCV>
- [19] The Java 3D™ API Specification. Sun Microsystems, Inc.